

Performance Evaluation of Two General Circulation Models for Downscaling Average Temperature in Birjand County

Mohammad Fouladi Nasrabad, Mahdi Amirabadizadeh, Mahdi Dastourani*

Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

*Corresponding author: mehdi840561@gmail.com

(Received: 17 October 2023

Revised: 10 December 2023

Accepted: 14 January 2024)

Extended abstract

Introduction: Climate change has a significant impact on water resources and the environment, which is reflected in agriculture, society, and economy. The use of General Circulation Models (GCMs) with downscaling models is a method for assessing climate change. Considering the placement of South Khorasan Province and the city of Birjand in the arid region of Iran, population growth, industrial and mining development, and the pursuit of sustainable agriculture, it is essential to assess the effects of climate change on essential meteorological parameters. The objective of this study is to compare the performance of historical models NCEP and ECMWF in downscaling temperature parameters for the Birjand County and investigate the changes in this parameter until 2030 using the top model and the SSP245 scenario with the CanESM5 model.

Materials and Methods: In this research, to compare the performance of two GCMs, NCEP and ECMWF, in downscaling temperature parameters, daily temperature data from the Birjand synoptic station for the period from 1990 to 2021 were used as the baseline period. Additionally, to evaluate the performance of these two GCMs, the statistical downscaling model SDSM was utilized. To assess the performance of these two models, evaluation criteria such as NS, KGE, RMSE, and BR² were employed.

Results and Discussion: To investigate and compare the performance of two GCMs, NCEP and ECMWF, daily average temperature data from the Birjand synoptic station were used from the January 1990 to the September 2021. The data from 1990 to the January 2008 were considered for calibration, and data from the January 2008 to the September 2015 were used for validation. Both NCEP and ECMWF models had 26 parameters, and for downscaling, the parameters with the highest correlation with observed temperature were selected among these 26 parameters using the R software and the HydroGof package. Additionally, evaluation criteria such as NS, RMSE, KGE, and BR² were used to assess the models' performance in calibration and validation sections. The closeness of variance and mean values of time series generated by the NCEP and ECMWF models to the variance and mean values of observed time series in the entire simulation period was examined using F and T tests. The results of the calibration section showed that the two models, NCEP and ECMWF, exhibited similar performance since the values of evaluation criteria NS, RMSE, KGE, and BR² for the ECMWF model were calculated as 0.69, 4.86, 0.85, and 0.7, respectively, and for the NCEP model, they were 0.70, 4.79, 0.85, and 0.7, respectively. Since box plots, mean values, and standard deviations have a high capability in deciding the degree of dispersion and similarity between two time series, box plots, mean values, and standard deviations of the generated time series and observed time series in the calibration and validation periods were used to assess the similarity and closeness of the time series. The results of the evaluation criteria in the validation section showed that the ECMWF model outperformed the NCEP model, with values of evaluation criteria NS, RMSE, KGE, and BR² for the ECMWF model being calculated as 0.69, 4.9, 0.85, and 0.73, respectively, and for the NCEP model, 0.67, 5.3, 0.83, and 0.7, respectively. Overall, the results indicated that the ECMWF model had a better performance and was selected as the superior model. Therefore, to simulate and predict the average temperature parameter, the parameters mslp, P500, P5-f, P5-u, P850, and P8-u from the ECMWF model were used. Consequently, it is predicted that the average temperature will increase by approximately 3 degrees Celsius compared to the statistical baseline period in the next 8 years.

Conclusion: The results indicate that based on the evaluation criteria, the ECMWF model performs relatively better in estimating the average temperature of Birjand County compared to the NCEP model. Moreover, the analysis of box plots, mean values, and standard deviations of the generated time series in the calibration and validation sections showed that both models produced similar patterns of dispersion, minimum, maximum, and mean values compared to the observed time series. However, the ECMWF model exhibited relatively better performance in terms of mean and variance values of the generated data on a monthly basis in the calibration and validation periods. As a result, the ECMWF model was selected as the superior model for simulating and predicting the average temperature of Birjand County for the years 2022 to 2030 under the SSP245 emission scenario using the CanESM5 model. The predicted results indicate that the average temperature of Birjand County is expected to increase by approximately 3 degrees Celsius compared to the statistical baseline period.

Keywords: Climate Change, Downscaling, SDSM Model, Sixth Climate Model Intercomparison Project (CMIP6)

Citation: Fouladi Nasrabad, M., Amirabadizadeh, M., & Dastourani, M. (2024). Performance Evaluation of Two General Circulation Models for Downscaling Average Temperature in Birjand County. *Integrated Watershed Management*, 4(1), 30-45. doi: 10.22034/iwm.2024.2013786.1109

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



بررسی عملکرد دو مدل گردش عمومی جو-اقیانوس در ریزمقیاس‌سازی دمای متوسط در شهرستان بیرجند

محمد فولادی نصرآباد، مهدی امیرآبادی زاده، مهدی دستورانی*

گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

*نویسنده مسئول: mehdi840561@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه: تغییر اقلیم تأثیر بسزایی بر منابع آب و محیط‌زیست دارد که در کشاورزی، جامعه و اقتصاد منعکس می‌شود. استفاده از مدل گردش عمومی (GCM) با مدل‌های کاهش مقیاس آماری، روشی برای ارزیابی تغییرات اقلیمی است. با توجه به قرار گرفتن استان خراسان جنوبی و شهرستان بیرجند در منطقه خشک ایران، رشد جمعیت، توسعه صنعتی و معدنی به رسیدن به کشاورزی پایدار، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی ضروری به نظر می‌رسید. هدف از این مطالعه مقایسه عملکرد مدل‌های تاریخی NCEP و ECMWF در ریزمقیاس‌نمایی پارامتر دما شهرستان بیرجند و بررسی تغییرات این پارامتر تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل برتر و سناریو SSP245 مدل CanESM5 است.

موارد و روش‌ها: در این پژوهش به منظور مقایسه عملکرد دو مدل گردش عمومی NCEP و ECMWF در ریزمقیاس‌سازی پارامتر دما، از اطلاعات دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ به‌عنوان دوره پایه استفاده شد. همچنین به منظور بررسی عملکرد این مدل‌ها از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و به منظور ارزیابی عملکرد این دو مدل از معیارهای ارزیابی NS، KGE، RMSE و BR² استفاده شد.

نتایج و بحث: به منظور بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل گردش عمومی NCEP و ECMWF از داده‌های روزانه دمای متوسط، از روز اول ماه ژانویه سال ۱۹۹۰ تا پایان ماه سپتامبر سال ۲۰۲۱ ایستگاه سینوپتیک شهرستان بیرجند استفاده شد. به طوری که از داده‌های سال ۱۹۹۰ تا روز اول از ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ به‌عنوان بخش واسنجی و از روز اول ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ تا پایان ماه سپتامبر سال ۲۰۱۵ به‌عنوان بخش اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. دو مدل NCEP و ECMWF دارای ۲۶ پارامتر بوده که به منظور انجام ریزمقیاس‌سازی ابتدا میزان همبستگی هر یک از پارامترها با پارامتر دمای مشاهداتی در محیط نرم‌افزار R و با استفاده از پکیج HydroGof کدنویسی و محاسبه و پارامترهایی که بیشترین همبستگی را با پارامتر دما داشته‌اند، از میان ۲۶ پارامتر استخراج گردید. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیارهای NS، RMSE، KGE و BR² در بخش‌های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. برای بررسی نزدیکی مقدار واریانس و میانگین سری‌های زمانی تولیدشده توسط دو مدل و سری زمانی مشاهداتی در کل بازه شبیه‌سازی به ترتیب از آزمون‌های F و T استفاده و فرض صفر در این آزمون‌ها به ترتیب نزدیکی مقادیر واریانس و میانگین سری‌های زمانی تولیدشده توسط دو مدل NCEP و ECMWF به واریانس و میانگین سری زمانی مشاهداتی در نظر گرفته شد. نتایج بخش واسنجی نشان داد که هر دو مدل عملکرد مشابهی از خود نشان داده‌اند به چاکه مقادیر معیارهای ارزیابی NS، RMSE، KGE و BR² در مدل ECMWF به ترتیب ۰/۶۹، ۴/۸۶، ۰/۸۵، ۰/۷ و در مدل NCEP به ترتیب ۰/۷۹، ۴/۷۹، ۰/۸۵، ۰/۷ محاسبه شده است. از آنجایی که نمودار جعبه‌ای، مقدار میانگین و انحراف معیار در تصمیم‌گیری در خصوص میزان نزدیکی و شباهت دو سری زمانی قابلیت بالایی دارند، به منظور بررسی شباهت و نزدیکی سری‌های زمانی تولیدشده توسط دو مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی از مقایسه نمودارهای جعبه‌ای، مقادیر میانگین و انحراف از معیار سری‌های زمانی تولیدشده و سری زمانی مشاهداتی استفاده شد. نتایج محاسبه معیارهای ارزیابی در بخش صحت‌سنجی نشان داد که مدل ECMWF عملکرد بهتری نسبت به مدل NCEP در بخش اعتبارسنجی داشته است، چاکه مقادیر معیارهای ارزیابی NS، RMSE، KGE و BR² در مدل ECMWF به ترتیب ۰/۶۹، ۴/۹، ۰/۸۵، ۰/۷۳ و در مدل NCEP به ترتیب ۰/۶۷، ۵/۳، ۰/۸۳، ۰/۷ محاسبه شده است. در مجموع با نتایج نشان داد که مدل ECMWF عملکرد بهتری داشته و به‌عنوان مدل برتر انتخاب می‌گردد. در نتیجه به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی مقدار دمای متوسط از پارامترهای P8-u، P850، P5-u، P5-f، P500، msIpl، P8-u و P850 مدل ECMWF استفاده گردید؛ بنابراین پیش‌بینی می‌شود میزان متوسط دما در بازه ۸ سال آینده، افزایش حدوداً ۳ درجه‌ای نسبت به متوسط دوره پایه آماری داشته باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد با توجه به معیارهای ارزیابی NS، RMSE، KGE و BR²، مدل ECMWF نسبت به مدل NCEP در برآورد مقدار دمای متوسط شهرستان بیرجند نسبتاً عملکرد بهتری دارد. همچنین بررسی نمودارهای جعبه‌ای، مقدار میانگین و انحراف از معیار سری‌های زمانی تولیدشده توسط دو مدل در بخش واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد که هر دو مدل از نظر میزان پراکندگی، مقدار کمینه و بیشینه و میانگین داده‌های تولیدی مقادیر مشابهی نسبت به سری زمانی مشاهداتی تولید کرده‌اند و از نظر مقدار میانگین و واریانس داده‌های تولیدشده در هر ماه در بازه واسنجی و اعتبارسنجی، مدل ECMWF عملکرد نسبتاً بهتری را از خود ارائه داد. بنابراین مدل ECMWF به‌عنوان مدل برتر انتخاب و شبیه‌سازی دمای متوسط شهرستان بیرجند در بازه سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۰ با استفاده از این مدل و تحت سناریو انتشار SSP245 مدل CanEcm5 انجام شد. نتایج پیش‌بینی نشان داد که دمای متوسط شهرستان بیرجند افزایش حدوداً ۳ درجه‌ای نسبت به متوسط دوره پایه آماری دارد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، گزارش ششم تغییر اقلیم (CMPI6)، مدل SDSM

استناد: فولادی نصرآباد، م.، امیرآبادی زاده، م.؛ و دستورانی، م. (۱۴۰۳). بررسی عملکرد دو مدل گردش عمومی جو-اقیانوس

در ریزمقیاس‌سازی دمای متوسط در شهرستان بیرجند. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۱)، ۴۵-۳۰.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

از میان بسیاری از روندهایی که دانشمندان را در سراسر سیاره نگران کرده است، از دست دادن تنوع زیستی جدی ترین تغییراتی است که می‌تواند منجر به فروپاشی جوامع اکولوژیکی با اثرات مخرب و همزمان بر خدمات و عملکردهای حیاتی اکوسیستم شود (Steffen *et al.*, 2015). در سراسر بیوسفر، از مهم‌ترین عوامل تغییر و کاهش تنوع زیستی، تغییر اقلیم یا تغییرات آب و هوایی است (IPBES, 2019; Venter *et al.*, 2016). این تغییرات آب و هوایی به دلیل فعالیت‌های انسانی، سبب ایجاد گرمایش جهانی شده است (IPCC 2012; Kim *et al.*, 2016; Van Oldenborgh *et al.*, 2019). هم‌چنین افزایش دمای هوا در اثر تغییر اقلیم، موجب تغییر رژیم بارشی از برف به باران، تغییر مقدار و شدت رواناب، نسبت برف به باران و میزان آب ذخیره‌شده در توده برف خواهد شد و میزان بارش روی برف، در ارتفاعات میانی و پست کوهستان کاهش و در مناطق مرتفع افزایش می‌یابد که در نهایت بر دبی اوج جریان روزانه تأثیرگذار خواهد بود (Razzaghian *et al.*, 2017). بر اساس نتایج تحقیقات هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC^۱)، پدیده تغییر اقلیم در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک قاره آسیا از جمله ایران اثرات منفی را بر روی منابع آب به همراه خواهد داشت (Ansari Mahabadi *et al.*, 2018).

مطالعات انجام گرفته در ایران نیز بیانگر روند کاهشی بارش، روند افزایشی دما و کاهش منابع آبی تحت اثر تغییر اقلیم بوده‌اند (Sharafati *et al.*, 2020; Zarrin *et al.*, 2021; Fallah-Ghalhari *et al.*, 2019; Ansari *et al.*, 2022). هم‌چنین نتایج تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که دمای زمین در طی ۱۰۰ سال گذشته نزدیک به ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش تا سال ۲۱۰۰ به ۳ درجه سانتی‌گراد نیز برسد (Zareian *et al.*, 2022)؛ بنابراین در صورتی که فعالیت‌های مناسبی در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و سازگاری با آن صورت نگیرد این پدیده می‌تواند بخش عمده‌ای از جهان را تحت تأثیر قرار دهد. مشخص است که در صورت اعمال مدیریت‌های نادرست و بهره بردن از راهکارهای نامناسب، علاوه بر هدررفت منابع موجود و

تشدید اثرات مخرب خشک‌سالی زمینه برای بروز خشک‌سالی‌های بعدی فراهم می‌شود. با توجه به وابستگی اثرات تغییر اقلیم به نتایج مدل‌های اقلیمی، دستیابی به تصویرسازی معتبر در دوره آتی با استفاده از مدل‌های اقلیمی ارائه شده در گزارش جدید ششم ارزیابی به سبب دقت بیشتر امکان‌پذیر می‌شود. محدودیت‌ها و نقص‌های مدل‌های گزارش پنجم (CMIP5) از جمله درک ضعیف واداشت تابشی در مدل‌های اقلیمی همراه با خطاهای سیستماتیک، مشکل تعیین منافع و هزینه‌های هریک از عملیات کاهشی به‌طور جداگانه و عدم تمرکز روی علوم خاص در مدل‌سازی منجر به شکل‌گیری سری مدل‌های جفت شده درون مقیاسه‌ای CMIP6 در گزارش ششم شد. سناریوهای گزارش ششم به صورت ترکیبی از خط سیرهای اقتصادی-اجتماعی (SSP) (توسعه پایدار SSP1، توسعه بر اساس سیاست‌های میانی SSP2، رقابت منطقه‌ای SSP3، نابرابری SSP4 و توسعه سوخت‌های فسیلی SSP5) و خط سیرهای غلظت گازهای گلخانه‌ای (سطوح واداشت مختلف) تولید می‌شوند؛ به طوری که امکان تحلیل بازخورد میان تغییرات اقلیمی و عوامل اجتماعی-اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری را فراهم می‌آورند (Ansari Mahabadi *et al.*, 2018). برخلاف توانمندی بالای مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، مدل‌سازی‌های انجام‌شده به دلایلی از جمله ساده‌سازی‌های صورت گرفته در شرایط اولیه و پارامترهای مدل‌ها، هم‌چنان با عدم قطعیت همراه هستند. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM^۲) می‌باشد. با توجه به لحاظ شرایط فیزیکی جو و زمین و تمامی فرآیندهای مابین آن‌ها، کاربرد مدل‌های GCM روزبه‌روز در مطالعات اقلیمی در حال افزایش است؛ اما به دلیل اینکه مدل‌های GCM به لحاظ تفکیک مکانی و زمانی از گام‌های بزرگ استفاده می‌کنند داده‌های مستخرج از آن‌ها به صورت مستقیم قابلیت استفاده را ندارند؛ بنابراین استفاده از داده‌های GCM از انواع روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری مانند LARS-WG، SDSM (Naderi *et al.*, 2020) (Rakhimvoa *et al.*, 2020) CCT

که دما تحت سناریو RCP8.5 بین ۵/۵۷ تا ۵/۹۱ درجه سانتی‌گراد و تحت سناریو RCP4.5 بین ۱/۴ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (Mohammed and Hassan, 2022).

در کشور ایران نیز، Ostad-Ali-Askari و همکاران (2020)، جهت پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی دشت اصفهان-برخوار با استفاده از مدل LARS-WG به ریزمقیاس‌نمایی پنج مدل متفاوت GCM پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مدل MIROCS دقت بیشتری نسبت به مدل‌های MIROC-ESM، MIROC-ESM-CHEM، MRI-CGCM3 و NorESM1-M دارد و نیز آنکه بارش در تمامی سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 کاهش می‌یابد (Ostad-Ali-Askari et al., 2020).

Javaherian و همکاران (2021)، تغییرات دما و بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۰ در حوضه سد لار را تحت سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که دما ۱/۰۱ تا ۱/۱۲ درجه سلسیوس و بارش ۲۱/۳۳ میلی‌متر افزایش پیدا خواهد کرد (Javaherian et al., 2021). در مطالعه دیگری که توسط Doulabian و همکاران (2021) در ایران صورت گرفته، اثرات تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP مدل‌های GCM مختلف بر روی پارامترهای اقلیمی بارش و دما در دوره آینده بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که بارش عموماً کاهش یافته اما در یزد مقدار بارش افزایش چشم‌گیری داشته است. همچنین در این مطالعه، به استفاده از مدل‌های GCM ترکیبی تاکید شده است (Doulabian et al., 2021).

همانطور که مشخص است، تحقیقات و مطالعات بسیاری با استفاده از مدل‌های GCM به‌منظور پیش‌بینی و بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده صورت پذیرفته، اما در این تحقیق از گزارش ششم تغییر اقلیم به‌منظور بررسی تغییرات دما در دوره آتی استفاده شده است. به‌طور دقیق، هدف از انجام این پژوهش مقایسه عملکرد مدل‌های تاریخی NCEP^۱ و ECMWF^۲ در ریزمقیاس‌نمایی پارامتر دما شهرستان بیرجند و بررسی تغییرات این پارامتر تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل برتر و سناریو SSP245 مدل CanESM5 می‌باشد.

(al., 2018) و همچنین روش‌های مبتنی بر روابط خطی/غیرخطی بین متغیرها مثل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در پیش‌بینی عناصر و متغیرهای اقلیمی در دوره های زمانی آتی استفاده می‌شود (Ansari et al., 2015; Golkar Hamzee yazd et al., 2019). تحقیقات بسیاری در ارتباط با اثر پدیده تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی در نقاط مختلف جهان و ایران صورت گرفته که برخی از آن‌ها بیانگر اهمیت و ضرورت مطالعه پیوسته این پدیده را نشان می‌دهد. در همین راستا Rakhimova و همکاران در پژوهشی با استفاده از ۶ مدل GCM، اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی و رواناب آبی در حوضه رودخانه Buqirma در قزاقستان بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره آتی ۲۰۱۰، ۲۰۷۱، ۲۰۶۵، ۲۰۳۶ میانگین تبخیر-تعرق، دما و بارش افزایش یافته و نیز رواناب رفتار متفاوت و ناگهانی را به نسبت افزایش بارش پیش‌بینی شده از خود نشان خواهد داد (Rakhimova et al., 2020).

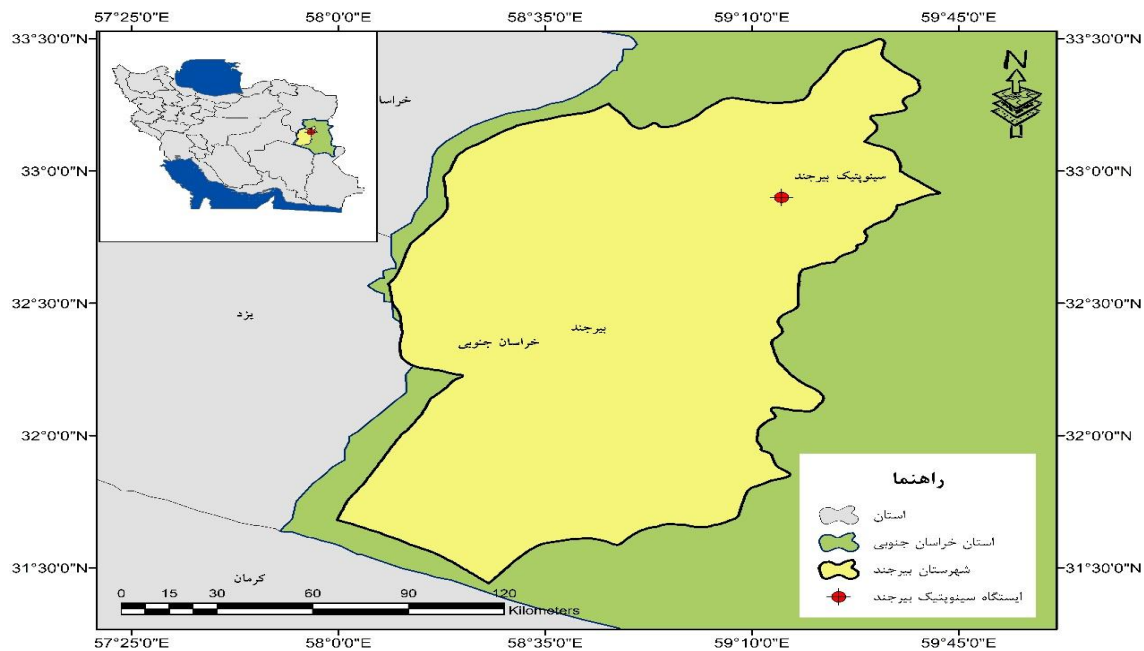
Chim و همکاران در تحقیقی دیگر با بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش تحت سناریوهای RCP4.5، RCP8.5، RCP2.6 پیش‌بینی نمودند که تغییرات دما و بارش در کامبوج منجر به خشکسالی در آینده خواهد گشت (Chim et al., 2021). Kavwenje و همکاران (2022)، در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات دمای کمینه، بیشینه و بارش در حوضه رودخانه Shire واقع در کشور مالاویر در قاره آفریقا در دوره ۲۰۷۰، ۲۰۷۱، ۲۰۴۰ پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرات بارش نسبت به دما در این منطقه بیشتر خواهد بود (Kavwenje et al., 2022). Reboita و همکاران (2022)، در آمریکای جنوبی از مطالعه پیش‌بینی روند تغییرات بارندگی با استفاده از مدل‌های GCM و ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نتیجه گرفتند که در اثر تغییر اقلیم روند بارندگی زمستانه تا ۳ برابر افزایشی و تابستانه تا ۳۰ درصد کاهش خواهد شد (Reboita et al., 2022). Mohammed and Hassan (2022)، در تحقیقی، تاثیر تغییر اقلیم بر دما را در کشور عراق با استفاده از مدل‌های GCM در دهه‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک و متوسط دمای سالیانه ۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد با متوسط بارش سالیانه ۱۷۱ میلی‌متر است (Yaghoobzadeh *et al.*, 2022). در این پژوهش به‌منظور مقایسه عملکرد دو مدل گردش عمومی NCEP و ECMWF در ریزمقیاس‌سازی

پارامتر دما، از اطلاعات دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ به عنوان دوره پایه استفاده شد. این ایستگاه در موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ درجه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۷ درجه‌ی شرقی قرار دارد. شکل ۱ نقشه موقعیت ایستگاه مورد مطالعه و جدول ۱ مشخصات ایستگاه سینوپتیک شهرستان بیرجند را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1 - Location of the study area

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند

Table 1 - Characteristics of the Birjand synoptic station

ارتفاع (متر)	X (utm)	Y (utm)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه سینوپتیک بیرجند
1463	705844	3638651	59-12-00	32-52-00	

متغیر پیش‌بینی شونده (مانند بارش و دما) را با استفاده از روش‌های رگرسونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی (WG^2) کوچک مقیاس نموده و در مرحله بعد با استفاده از مولد هواشناسی تصادفی، متغیر پیش‌بینی شونده، در ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد. در این روش، ریزمقیاس‌سازی آماری، متغیرهای اقلیمی روزانه طی مراحل زیر صورت می‌پذیرد:
۱- کنترل کیفیت و تغییر شکل داده‌ها

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)

مدل کوچک مقیاس‌سازی SDSM از اولین ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد که توسط Wilby و همکاران در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسعه یافت (Wilby *et al.*, 2002). این مدل ترکیبی (هیبریدی) از مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و پیش‌بینی‌کننده را در گام‌های واسنجی و پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌دهد. این روش ابتدا

منابع انرژی، مصرف انرژی را کاهش دهند و برای محافظت از محیط زیست و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تلاش کنند. در این سناریو، سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد و دمای جهانی نیز در حدود ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای قبل از انقلاب صنعتی خواهد بود.

معیارهای ارزیابی مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش، به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های گردش عمومی NCEP و ECMWF از معیارهای NS^1 ، $RMSE^2$ و KG^3 استفاده شد. روابط این معیارها به ترتیب در رابطه‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

معیار NS: ضریب نش-ساتکلیف (NS) یکی از رایج‌ترین شاخص‌هایی است که برای ارزیابی کارایی مدل‌های شبیه‌ساز استفاده می‌شود. این شاخص حالتی استاندارد از تابع حداقل مربعات خطاست که نسبت واریانس باقی‌مانده به واریانس مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد. رابطه (۱) نحوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد (Nash & Sutcliffe, 1970).

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_s - Q_o)^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

که در آن Q_s پارامتر شبیه‌سازی شده، Q_o مقدار مشاهداتی و \bar{Q}_o میانگین مقادیر مشاهداتی است. مقدار ایده‌آل این معیار برابر یک است که نشان‌دهنده برابر بودن مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. معیار RMSE: مقدار ایده‌آل این معیار برابر صفر می‌باشد و بیانگر این است که مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هیچ اختلافی ندارند. رابطه (۲) نحوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد که در آن Q_o مقدار مشاهداتی و Q_s پارامتر شبیه‌سازی شده است (Chai and Draxler, 2014).

۲- انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده

۳- واسنجی مدل

۴- تولید داده‌های هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی کننده مشاهده‌ای)

۵- بررسی کیفی مدل‌سازی با استفاده از شاخص‌های آماری

۶- تولید سناریوی اقلیمی (با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی مدل) (Amirabadizadeh et al., 2019)

مدل‌های گردش عمومی NCEP و ECMWF

مدل گردش عمومی NCEP یک مدل پیش‌بینی جوی است که توسط مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست در ایالات متحده آمریکا و مدل ECMWF توسعه داده شده است. این مدل‌ها که مبتنی بر روش‌های عددی هستند، از معادلات فیزیکی جو و داده‌های جوی و دریایی برای پیش‌بینی‌های هواشناسی، تغییرات آب و هوا و شرایط اقلیمی استفاده می‌کنند.

سناریوی انتشار

مدل CanESM5 یکی از مدل‌های پیش‌بینی جوی مطرح در جهان است و توسط سازمان هواشناسی کانادا توسعه داده شده است (Jeong et al., 2022). این مدل برای پیش‌بینی هواشناسی و شرایط اقلیمی در مناطق شمالی جهان، به ویژه مناطق قطبی، استفاده می‌شود. CanESM5 از دقت بالایی برخوردار است و به عنوان یکی از بهترین مدل‌های پیش‌بینی جو در مناطق قطبی شناخته شده است. همچنین، این مدل قابلیت پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی در طولانی مدت را نیز داراست. SSP 245 یکی از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده است که توسط پنل بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC) ارائه شده است. در این سناریو، فرض شده است که جوامع جهانی تلاش می‌کنند تا با استفاده از فناوری‌های نوین و بهبود کارایی

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_o - Q_s)^2} \quad (2)$$

نتایج

به منظور بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل گردش عمومی NCEP و ECMWF از داده‌های روزانه دمای متوسط، از روز اول ماه ژانویه سال ۱۹۹۰ تا پایان ماه سپتامبر سال ۲۰۲۱ ایستگاه سینوپتیک شهرستان بیرجند استفاده شد. به طوری که از داده‌های سال ۱۹۹۰ تا روز اول از ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ به عنوان بخش واسنجی و از روز اول ماه ژانویه سال ۲۰۰۸ تا پایان ماه سپتامبر سال ۲۰۱۵ به عنوان بخش اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. دو مدل NCEP و ECMWF دارای ۲۶ پارامتر بوده که به منظور انجام ریزمقیاس سازی ابتدا میزان همبستگی هر یک از پارامترها با پارامتر دمای مشاهداتی در محیط نرم افزار R و با استفاده از پکیج HydroGof کدنویسی و محاسبه و پارامترهایی که بیشترین همبستگی را با پارامتر دما داشتند، از میان ۲۶ پارامتر استخراج گردید. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیارهای NS، RMSE، KGE و BR^2 در بخش‌های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. همچنین به منظور بررسی نزدیکی مقدار واریانس و میانگین سری‌های زمانی تولید شده توسط دو مدل و سری‌های زمانی مشاهداتی در کل بازه شبیه‌سازی به ترتیب از آزمون‌های F و T استفاده و فرض صفر در این آزمون‌ها به ترتیب نزدیکی مقادیر واریانس و میانگین سری‌های زمانی تولید شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF به واریانس و میانگین سری‌های زمانی مشاهداتی در نظر گرفته شد. جدول ۲ پارامترهای مورد استفاده در هر مدل، جدول ۳ نتایج آزمون‌های F و T و جدول ۴ نتایج بخش واسنجی را نشان می‌دهد.

معیار KGE: معیار کلینگ^۱ و گوپتا^۲ (KGE) یکی از جدیدترین معیارهای ارزیابی می‌باشد که توسط Gupta و همکاران (2009) ارائه گردیده و درحقیقت تغییر یافته معیار نش-ساتکلیف می‌باشد. رابطه (۳) نحوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد:

$$KGE = 1 - \sqrt{(cc - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (3)$$

که در آن cc ضریب همبستگی خطی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، α نسبت انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده بر انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و β میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده به میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد. همانطور که از رابطه مشخص است مقدار ایده‌آل این معیار برابر یک می‌باشد و هرچه از یک دورتر باشد بیانگر عملکرد پایین مدل می‌باشد (Gupta et al., 2009).

معیار BR^2 : برای محاسبه این معیار از ضریب رگرسیون خطی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (B) و ضریب تبیین (R^2) استفاده می‌شود. در واقع در این معیار، B بیانگر اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و ضریب تبیین بیانگر پویایی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. مقدار ایده‌آل این معیار برابر یک می‌باشد (رابطه ۴) (Krause et al., 2005).

$$\begin{cases} \text{اگر } B \leq 1 \rightarrow BR^2 = |B| \times R^2 \\ \text{اگر } B > 1 \rightarrow BR^2 = \frac{R^2}{|B|} \end{cases} \quad (4)$$

که در این رابطه B ضریب رگرسیون خطی و R^2 ضریب تبیین بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. مقدار ایده‌آل آن یک می‌باشد و این حالت مربوط به زمانی است که در آن مقادیر شبیه‌سازی شده دقیقاً برابر مقادیر مشاهداتی محاسبه شده باشد.

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در هر مدل

Table 2 - Parameters used in each model

واحد	متغیر بزرگ مقیاس	ردیف
Pa	میانگین فشار سطح دریا (mslp)	1
M	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح hpa500 (P500)	2
Pa	نیروی هوا در ارتفاع hpa500 (P5_4)	3
m/s	مولفه سرعت مداری در ارتفاع hpa500 (P5_u)	4
s ⁻¹	تاوایی در ارتفاع hpa500 (P5_z)	5
M	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح hpa850 (P850)	6
m/s	مولفه سرعت مداری در ارتفاع hpa850 (P8_u)	7

با توجه به جدول ۲ از میان ۲۶ پارامتر هر یک از مدل های NCEP و ECMWF، پارامترهای mslp، P500، P5-f، P5-u، P850 و P8-u بطور مشترک برای هر دو مدل انتخاب و عملیات واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از این پارامترها انجام گرفت.

جدول ۳- نتایج آزمون های F و T

Table 3- The results of F and T tests

	آزمون - F	آزمون - T
	P-value	P-value
ECMS	۰/۵	۰/۵
NCEP	۰/۱۵	۰/۴۴

میانگین سری‌های زمانی تولید شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF نزدیک به مقادیر واریانس و میانگین سری زمانی مشاهداتی در کل دوره شبیه سازی می‌باشد.

با توجه به جدول ۳ و مقادیر P_value محاسبه شده می‌توان گفت، از آنجایی که مقادیر P_value در هر دو آزمون از مقدار ۰/۰۵ بیشتر می‌باشد، فرض صفر در هر دو آزمون رد نمی‌شود و بنابراین مقادیر واریانس و

جدول ۴- نتایج واسنجی دو مدل NCEP و ECMWF در شبیه‌سازی پارامتر دمای متوسط در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸

Table 4- The results of the calibration of the two NCEP and ECMWF models in the simulation of the average temperature parameter in the period from 1990 to 2008

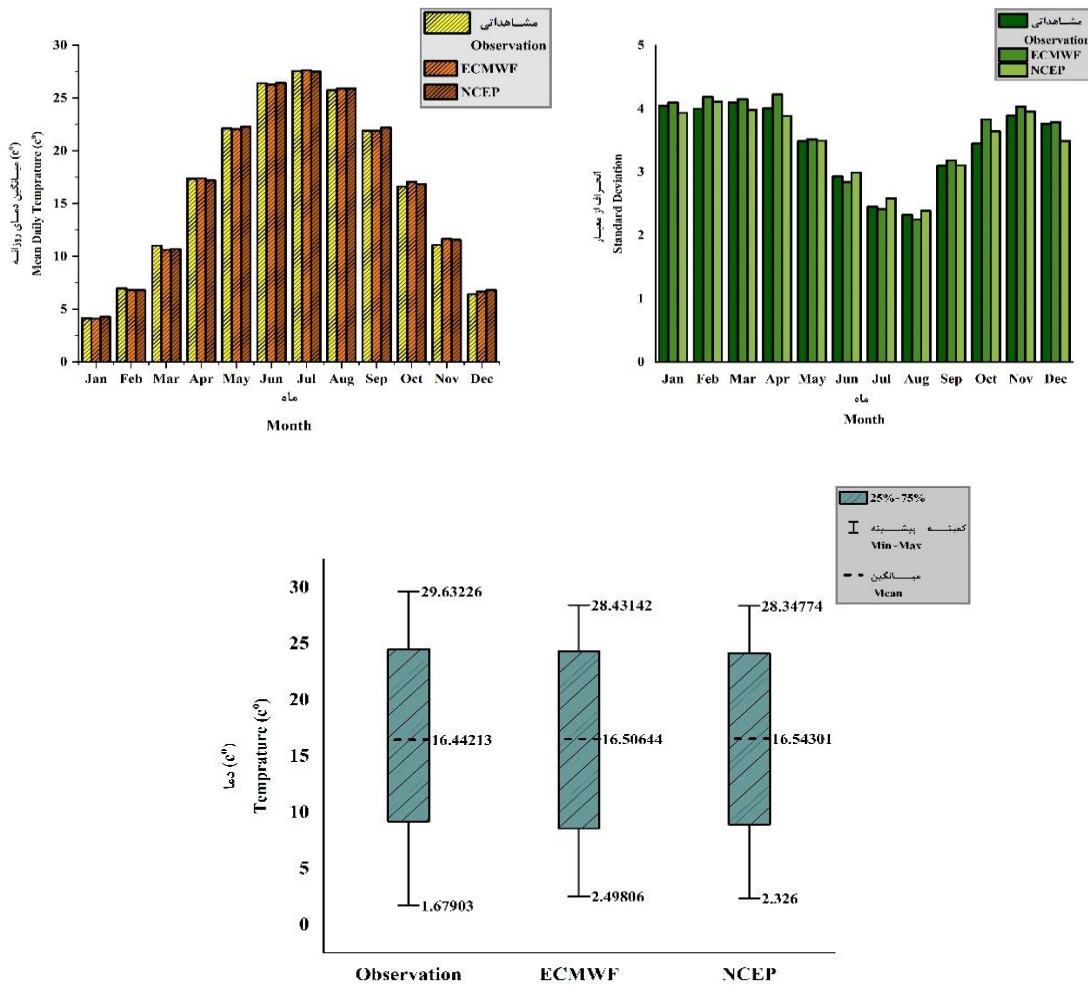
	RMSE	BR ²	NS	KGE
ECMWF	4.86	0.7	0.69	0.85
NCEP	4.79	0.7	0.7	0.85

نتایج بخش واسنجی نشان می‌دهد (جدول ۴) که دو مدل NCEP و ECMWF عملکرد مشابهی از خود نشان داده‌اند، چراکه مقادیر معیارهای ارزیابی NS، RMSE، KGE و BR² در مدل ECMWF به ترتیب ۰/۶۹، ۴/۸۶، ۰/۱۸۵، ۰/۷ و در مدل NCEP به ترتیب ۰/۷، ۴/۷۹، ۰/۱۸۵ و ۰/۷ محاسبه شده است.

از آنجایی که نمودار جعبه‌ای، مقدار میانگین و انحراف معیار در تصمیم‌گیری درخصوص میزان نزدیکی و

سری‌های زمانی تولید شده و سری‌زمانی مشاهداتی استفاده شد. شکل ۲ نمودارهای ذکرشده در بخش واسنجی و شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نمودار مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر دما توسط مدل ECMWF و NCEP در بخش واسنجی را نشان می‌دهد.

شباهت دو سری زمانی قابلیت بالایی دارند، به‌منظور بررسی شباهت و نزدیکی سری‌های زمانی تولید شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF با مقادیر مشاهداتی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی از مقایسه نمودارهای جعبه‌ای، مقادیر میانگین و انحراف از معیار



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای و نمودارهای تغییرات میانگین و انحراف از معیار سری‌های زمانی تولید شده و مشاهداتی در دوره واسنجی (1990-2008)

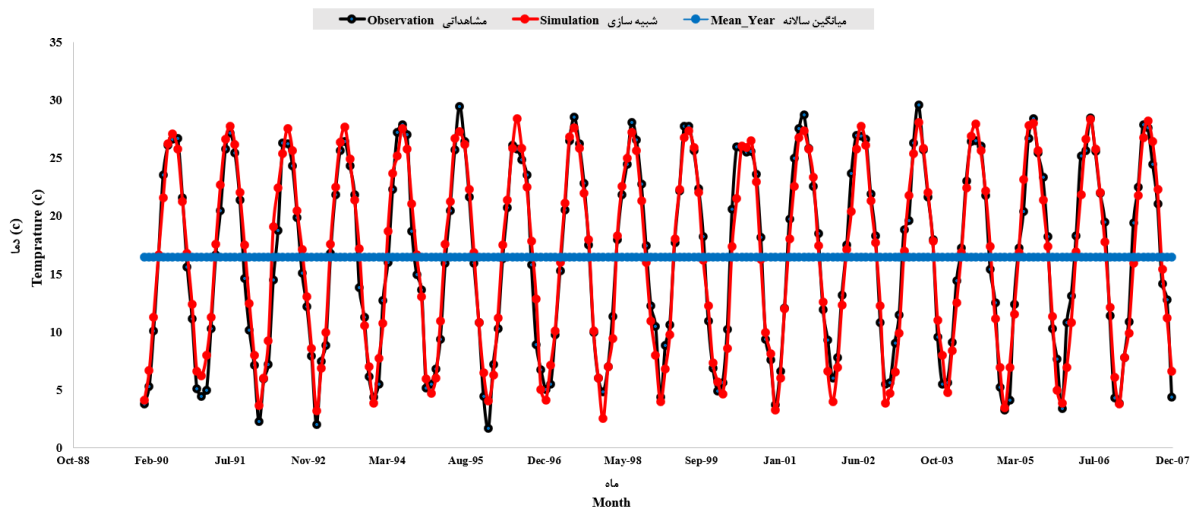
Figure 2- Box diagram and graphs of average changes and standard deviation of produced and observed time series in the calibration period (1990 to 2008)

مارس، آپریل، ژولای، اکتبر و نوامبر از مدل ECMWF عملکرد بهتر و در سایر ماه‌های سال مدل ECMWF مقادیر دقیق‌تری را نسبت به مدل NCEP برآورد کرده است. لازم به ذکر است که هر دو مدل در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای بیش تخمینی و در ماه‌های فوریه

با توجه به شکل ۲ و نمودار مقدار میانگین دمای روزانه در هر ماه از سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ و مقایسه مقدار میانگین سری‌زمانی تولیدشده توسط دو مدل NCEP و ECMWF نسبت به مقدار میانگین سری‌زمانی مشاهداتی می‌توان گفت که مدل NCEP در ماه‌های

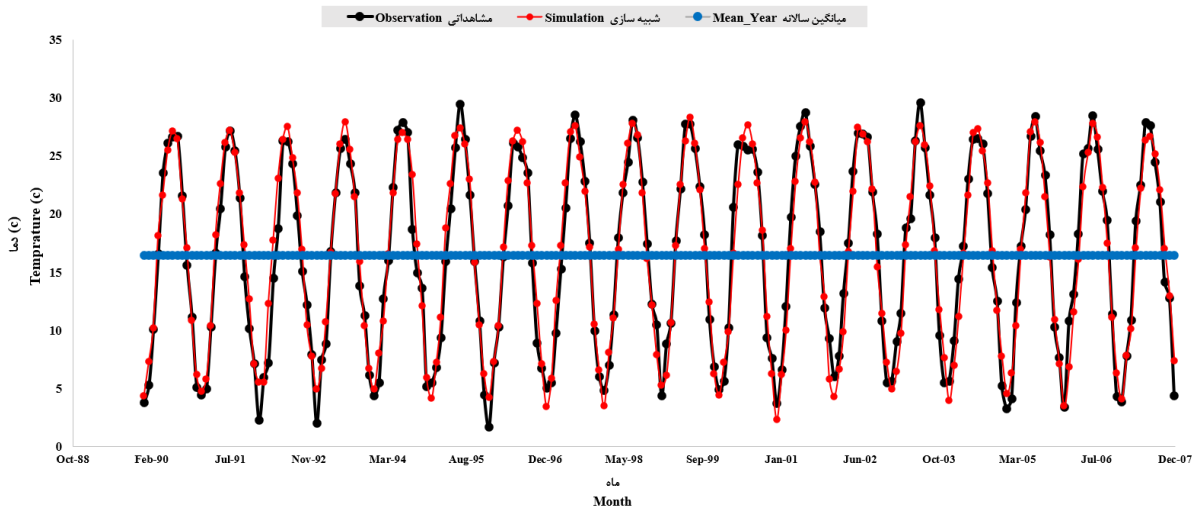
ECMWF به مقادیر مشاهداتی دارد و در سایر ماه‌ها این مدل ECMWF است که سری زمانی دقیق‌تری را تولید کرده است. از طرفی با بررسی نمودار جعبه‌ای مقادیر مدل شده و مقادیر مشاهداتی می‌توان گفت که سری زمانی تولید شده توسط هر دو مدل از نظر مقدار کمینه، بیشینه، میانگین و پراکندگی شباهت و نزدیکی زیادی با سری زمانی مشاهداتی دارد.

و مارس دارای کم تخمینی بوده‌اند. همچنین با توجه به نمودار انحراف از معیار مقادیر دمای محاسبه شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF نسبت به انحراف از معیار مقادیر دمای مشاهداتی می‌توان گفت، تغییرات سری زمانی تولید شده توسط مدل NCEP در ماه‌های فوریه، آوریل، می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر شباهت بیشتری نسبت به سری زمانی تولید شده توسط مدل



شکل ۳- نمودار مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر دما در بخش واسنجی توسط مدل ECMWF

Figure 3- The graph of the simulated values of the temperature parameter in the calibration section by the ECMWF model



شکل ۴- نمودار مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر دما در بخش واسنجی توسط مدل NCEP

Figure 4- Diagram of the simulated values of the temperature parameter in the calibration section by the NCEP model

نتایج بخش اعتبارسنجی دو مدل ECMWF و NCEP در شبیه‌سازی پارامتر دمای متوسط در بازه زمانی سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد.

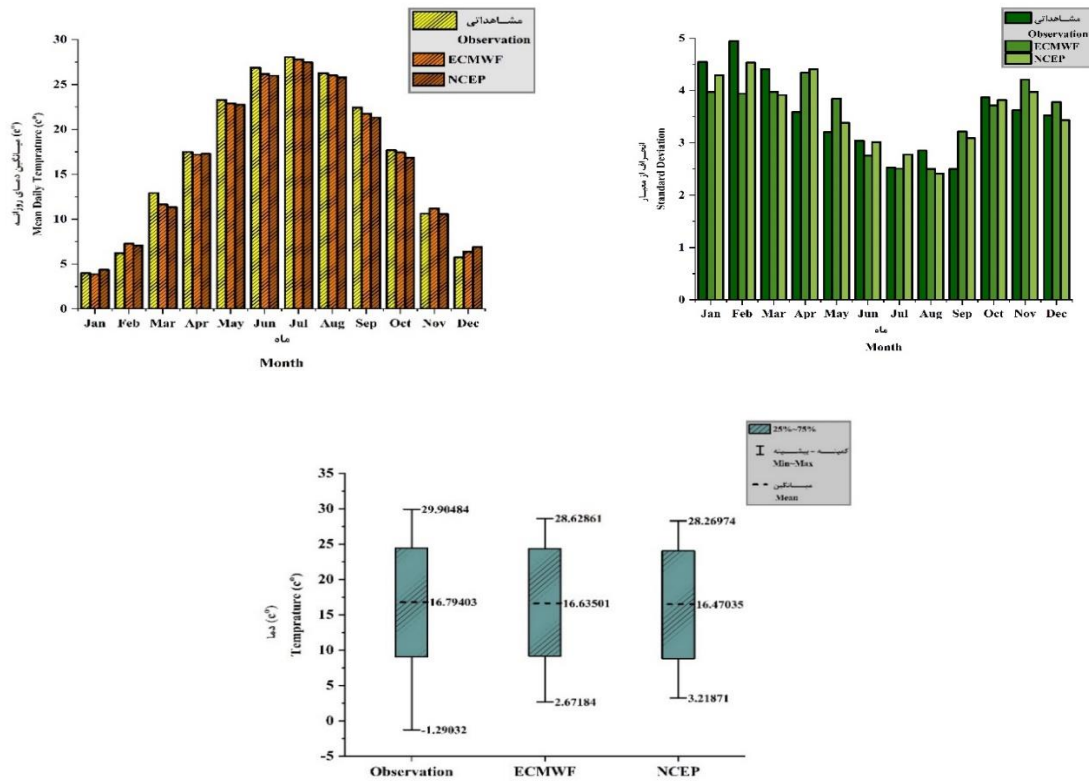
به منظور انتخاب مدل برتر، عملکرد دو مدل در بخش اعتبارسنجی با استفاده از معیارهای ارزیابی NS، RMSE، KGE و BR^2 مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۵

جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی مدل‌های NCEP و ECMWF در ریزمقیاس‌سازی پارامتر دمای متوسط در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵
 Table 5- The results of the validation of NCEP and ECMWF models in the microscaling of the average temperature parameter in the period of 2008 to 2015

	RMSE	BR ²	NS	KGE
ECMWF	4.9	0.73	0.69	0.85
NCEP	5.03	0.7	0.67	0.83

نمودار جعبه‌ای سری‌های زمانی تولید شده به منظور بررسی شباهت و نزدیکی به سری زمانی مشاهداتی در بخش اعتبارسنجی در شکل ۵ و نمودار مقادیر ریزمقیاس‌سازی شده پارامتر دما در بخش‌های اعتبارسنجی توسط مدل ECMWF و NCEP در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۵، مشخص می‌شود که مدل ECMWF عملکرد بهتری نسبت به مدل NCEP در بخش اعتبارسنجی داشته است، چراکه مقادیر معیارهای ارزیابی NS، RMSE، KGE و BR² در مدل ECMWF به ترتیب ۰/۶۹، ۴/۹، ۰/۸۵، ۰/۷۳ و در مدل NCEP به ترتیب ۰/۶۷، ۵/۳، ۰/۸۳ و ۰/۷ محاسبه شده است. همچنین نمودارهای مقدار میانگین و انحراف از معیار و



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای و نمودارهای تغییرات میانگین و انحراف از معیار سری‌های زمانی تولید شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۸-۲۰۱۵)

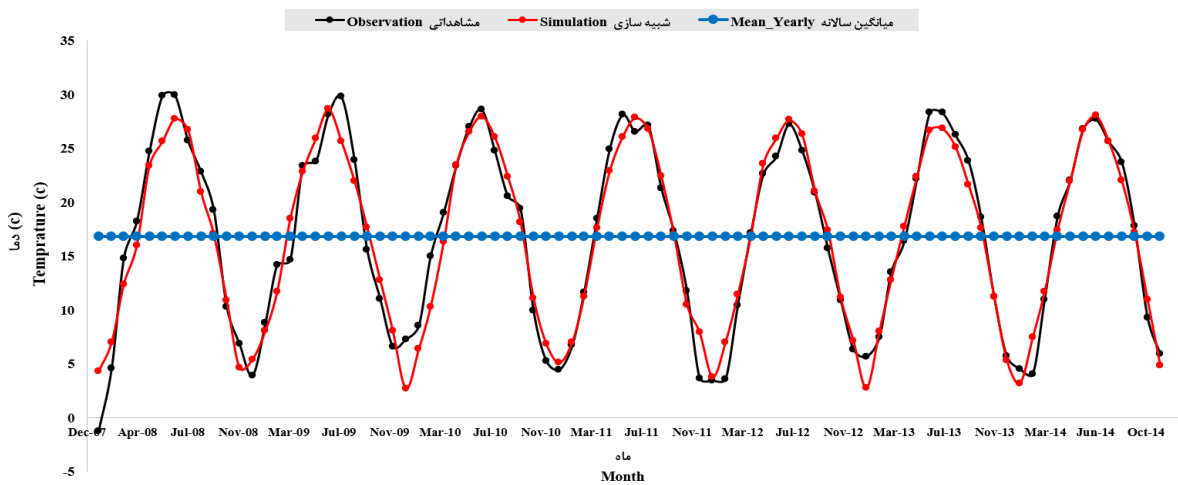
Figure 5- Box diagram and graphs of average changes and standard deviation of produced and observed time series in the validation period (2008-2015)

مشاهداتی می‌توان گفت که مدل NCEP در ماه‌های فوریه، آوریل و نوامبر از مدل ECMWF عملکرد بهتر و در سایر ماه‌های سال مدل ECMWF مقادیر دقیق تری را نسبت به مدل NCEP برآورد کرده است. لازم

با توجه به شکل ۵ و نمودار مقدار میانگین دمای روزانه در هر ماه از سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ و از مقایسه مقدار میانگین سری‌زمانی تولید شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF نسبت به مقدار میانگین سری‌زمانی

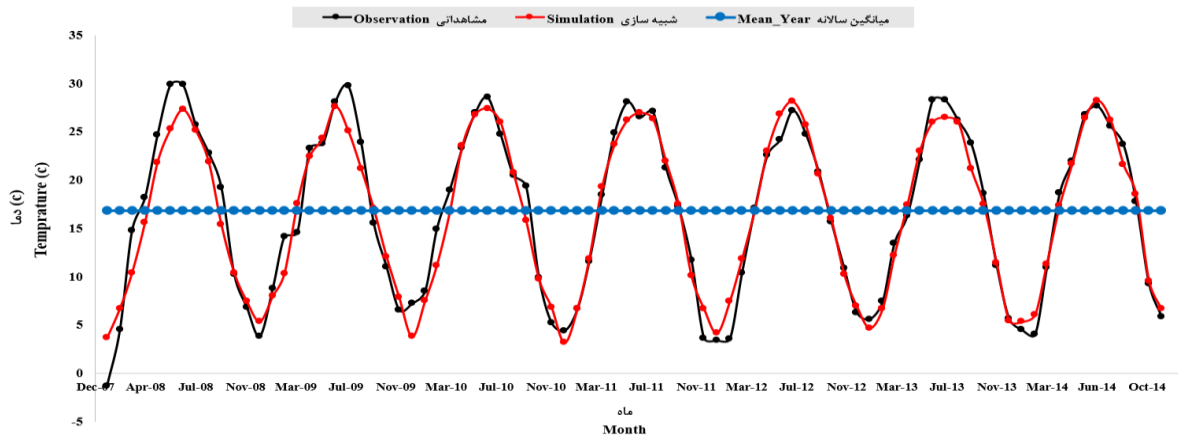
زمانی تولید شده توسط مدل NCEP به مقادیر مشاهداتی دارد و در سایر ماه‌ها این مدل NCEP است که سری زمانی دقیق‌تری را تولید کرده است. از طرفی با بررسی نمودار جعبه‌ای مقادیر مدل‌شده و مقادیر مشاهداتی می‌توان گفت که علی‌رغم نزدیکی مقادیر کمینه و بیشینه میانگین داده‌های مدل‌شده و داده‌های مشاهداتی، این مدل ECMWF است که از نظر میزان پراکندگی و مقدار میانگین سری زمانی تولیدی، عملکرد بهتری نسبت به مدل NCEP داشته است.

به ذکر است که هر دو مدل در ماه‌های فوریه، نوامبر و دسامبر دارای بیش تخمینی و در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن، ژولای، آگست، سپتامبر و اکتبر دارای کم تخمینی بوده‌اند. همچنین با توجه به نمودار انحراف از معیار مقادیر دمای محاسبه شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF نسبت به انحراف از معیار مقادیر دمای مشاهداتی می‌توان گفت، تغییرات سری زمانی تولیدشده توسط مدل ECMWF در ماه‌های مارس، آوریل، ژولای و آگست شباهت بیشتری نسبت به سری



شکل ۶- نمودار مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر دما در بخش اعتبارسنجی توسط مدل ECMWF

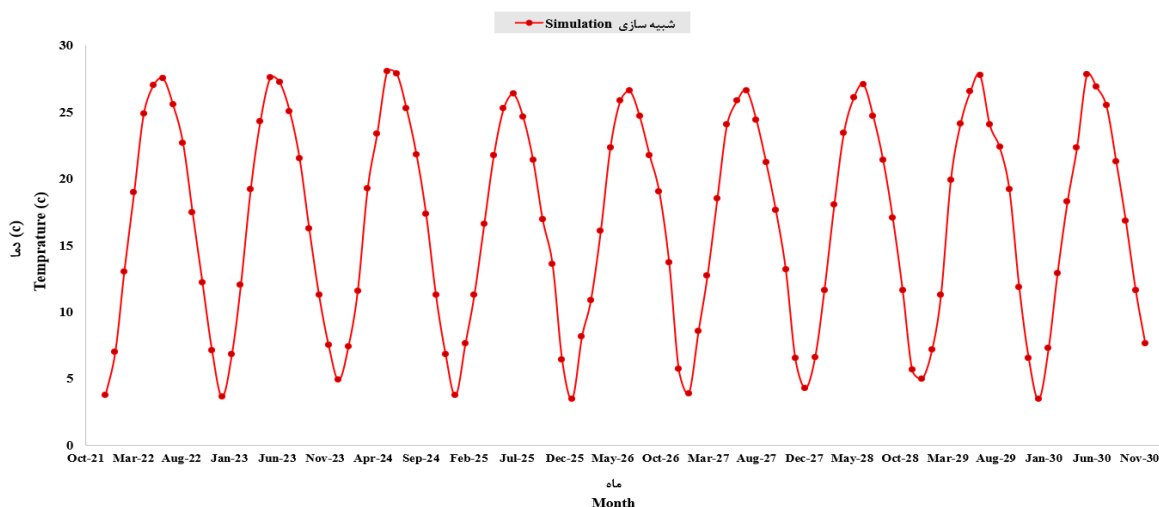
Figure 6- Diagram of the simulated values of the temperature parameter in the validation section by the ECMWF model



شکل ۷- نمودار مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر دما در بخش اعتبارسنجی توسط مدل NCEP

بنابراین با توجه به جدول ۵ و با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته بر روی سری‌های زمانی تولید شده توسط دو مدل NCEP و ECMWF در بخش اعتبارسنجی می‌توان گفت مدل ECMWF در این بخش عملکرد بهتری داشته و در مجموع به‌عنوان مدل برتر انتخاب می‌گردد. در نتیجه به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی مقدار دمای متوسط از پارامترهای P5-f, P500, mslp, P5-u, P850, P8-u و P5-u مدل ECMWF استفاده گردید.

شکل ۸ مقادیر دمای شبیه سازی شده از سال ۲۰۲۲ تا سال ۲۰۳۰ را نشان می دهد.



شکل ۸ - مقادیر دمای ریزمقیاس سازی شده از سال ۲۰۲۲ تا سال ۲۰۳۰

Figure 8 - Downscaled temperature values from 2022 to 2030

NCEP در برآورد مقدار دمای متوسط شهرستان بیرجند نسبتاً عملکرد بهتری دارد چراکه مقادیر معیارهای ارزیابی BR^2 ، KGE ، $RMSE$ ، NS در مدل ECMWF به ترتیب $0/185$ ، $4/86$ ، $0/69$ ، $0/7$ و در مدل NCEP به ترتیب $0/7$ ، $4/79$ ، $0/185$ و در بخش اعتبارسنجی برای مدل ECMWF به ترتیب $0/73$ ، $0/185$ ، $4/9$ ، $0/69$ و در مدل NCEP به ترتیب $0/67$ ، $5/3$ ، $0/183$ و $0/7$ محاسبه شدند. همچنین بررسی نمودارهای جعبه‌ای، مقدار میانگین و انحراف از معیار سری های زمانی تولید شده توسط دو مدل در بخش واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد که هر دو مدل از نظر میزان پراکندگی، مقدار کمینه و بیشینه و میانگین داده‌های تولیدی مقادیر مشابهی نسبت به سری زمانی مشاهداتی تولید کرده‌اند و از نظر مقدار میانگین و واریانس داده‌های تولید شده در هر ماه در بازه واسنجی و اعتبارسنجی، مدل ECMWF عملکرد نسبتاً بهتری را از خود ارائه داد؛ بنابراین مدل ECMWF به عنوان مدل برتر انتخاب و شبیه‌سازی دمای متوسط شهرستان بیرجند در بازه سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۰ با استفاده از این مدل و تحت سناریو

با توجه به شکل ۸، پیش‌بینی می‌شود میزان متوسط دما در بازه ۸ سال آینده، افزایش حدوداً ۳ درجه‌ای نسبت به متوسط دوره پایه آماری داشته باشد.

بحث

این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل گردش عمومی NCEP و ECMWF در ریزمقیاس سازی پارامتر دمای متوسط شهرستان بیرجند تحت گزارش ششم تغییر اقلیم و برآورد دمای متوسط این شهرستان در بازه سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۰ با مدل گردش عمومی برتر انجام گرفت. در این پژوهش به منظور ریزمقیاس سازی پارامتر دمای متوسط، از اطلاعات دمای ایستگاه سینوپتیک بیرجند در بازه سال‌های ۱۹۹۰ تا پایان سال ۲۰۲۱ در مقیاس روزانه استفاده شد. به طوری که سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ برای بخش واسنجی و سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ برای بخش اعتبارسنجی در نظر گرفته و به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیارهای NS ، $RMSE$ ، KGE و BR^2 در بخش های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ECMWF نسبت به مدل

دماهای بیشینه و کمینه نیز افزایش خواهند یافت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در برآورد دمای متوسط شهرستان بیرجند، مدل ECMWF نسبت به مدل NCEP عملکرد بهتری از خود نشان در بخش‌های واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد. همچنین بررسی نمودارهای جعبه‌ای، مقدار میانگین و انحراف از معیار سری زمانی‌های تولید شده توسط دو مدل ECMWF و NCEP در بخش‌های واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد که هر دو مدل عملکرد مشابهی از خود نشان دادند اما از نظر مقدار میانگین و واریانس داده‌های تولید شده در هر ماه، مدل ECMWF عملکرد بهتری از خود نشان داده و بنابراین به عنوان مدل برتر انتخاب گردید؛ بنابراین براساس مطالب بیان شده در بخش بحث، درخصوص پیش‌بینی صورت گرفته با استفاده از سناریو SSP245 در رابطه با نحوه افزایش دما مشخص شد که شهرستان بیرجند در افق آینده نزدیک شاهد افزایش ۳ درجه‌ای خواهد بود. به‌منظور بررسی دقیق‌تر اثر تغییر اقلیم بر مقادیر داده‌های هواشناسی در شهرستان بیرجند، پیشنهاد می‌گردد نحوه تغییرات بارندگی نیز مورد بررسی قرار گیرد.

References

Amirabadizadeh, M., Yaghoobzadeh, M., Hashemi, S. & khozaymehnezhad, H. (2019). Assessment linear and data-driven models in downscaling of precipitation and temperature in South khorasan Province. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(1), 68-82. (in Persian)

Ansari Mahabadi, S., Massah Bavani, A. R. & Bagheri, A. (2018). Improving adaptive capacity of social-ecological system of Tashk-Bakhtegan Lake Basin to climate change effects – A methodology based on Post-Modern Portfolio Theory. *Ecology & Hydrobiology*. 18(4), 365-

انتشاری SSP245 مدل CanEcm5 انجام شد. Javanmard Ghassab و همکاران (2017) نیز در پژوهشی با ارزیابی پیش‌بینی میان‌مدت بارش مدل‌های عددی جهانی پایگاه TIGGE در حوضه کارون بزرگ، نشان دادند که مدل ECMWF نسبت به مدل NCEP عملکرد بهتری دارد. آنها نشان دادند که مدل ECMWF در ارزیابی نقطه‌ای، منطقه‌ای نسبت به مدل NCEP عملکرد بهتری داشته‌است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که مدل ECMWF در ارزیابی خطای جابجایی، حجم الگوی مکانی مدل‌های عددی جهانی، نسبت به مدل NCEP عملکرد بهتری داشته‌است. نتایج پیش‌بینی صورت گرفته در این تحقیق نشان داد که دمای متوسط شهرستان بیرجند افزایش حدوداً ۳ درجه‌ای نسبت به متوسط دوره پایه آماری دارد. در این خصوص نتایج بدست آمده با نتایج پژوهش Amirabadizadeh و همکاران (2019) مطابقت دارد، چراکه در پژوهش مذکور که با استفاده از مدل SDSM در شهرستان بیرجند انجام شده است، به این نتیجه رسیدند که برای افق آینده نزدیک 2021-2049 در شهرستان بیرجند، ضمن کاهش میزان بارندگی سالانه،

378.

<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.002>

Ansari, S., Dehban, H., Zareian, M. & Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the output of CMIP6 model. *Iranian Water Researches Journal*, 16(1), 11-24. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2022.11204>. (in Persian)

Chim, K., Tunncliffe, J., Shamseldin, A. & Chan, K. (2021). Identifying future climate change and drought detection using CanESM2 in the upper Siem Reap River, Cambodia. *Dynamics of Atmospheres and*

- Oceans*, 94–101182.
<https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2020.101182>
- Chai, T. & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250.
<https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>, 2014
- Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A. S. & Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1), 166-184.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2020.114>
- Fallah-Ghalhari, G., Shakeri F. & DadashiRoudbari, A. (2019). Impacts of climate changes on the maximum and minimum temperature in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3-4), 1539-1562. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02906-9>
- Golkar Hamzee Yazd, HR., Salehnia, N., Kolsoumi, S. & Hoogenboom, G., (2019). Prediction of climate variables by comparing the k-nearest neighbor method and MIROC5 outputs in an arid environment, *Clim Res* 77, 99-114.
<https://doi.org/10.3354/cr01545>
- Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K. & Martinez, G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377: 1. 80-91.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- IPBES. (2019).“Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.”In, edited by S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnar, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. R. Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas, 56. Bonn: IPBES Secretariat.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- IPCC (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner G-K, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.
- Javaherian, MR., Ebeahimi, H. & Amininezhad, B. (2021). Prediction of changes in climatic parameters using CanESM2 model based on Rcp scenarios (case study): Lar dam basin. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 445-454.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.012>
- Jeong, D. I., Yu, B. & Cannon, A. J. (2023). Climate change impacts on linkages between atmospheric blocking and North American winter cold spells in CanESM2 and CanESM5. *Climate Dynamics*, 60(1-2), 477-491. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06307-z>
- Kavwenje, S., Zhao, L., Chen, L. & Chaima, E. (2022). Projected temperature and precipitation changes using the LARS-WG statistical downscaling model in the Shire River Basin, Malawi. *International Journal of Climatology*, 42(1), 400-415.
<https://doi.org/10.1002/joc.7250>
- Kim, YH., Min, SK., Zhang, X., Zwiers, F., Alexander, LV., Donat, MG. & Tung YS (2016) Attribution of extreme temperature changes during 1951–2010. *Clim Dyn* 46(5–6), 1769–1782.
<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2674-2>
- Krause, P., Boyle, D. P. & Base, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment, *Adv. Geosci.* 5, 89-97.
<https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>
- Mohammed, Z. M. & Hassan, W. H. (2022). Climate change and the projection of future temperature and precipitation in southern Iraq using a LARS-WG model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-14.
<https://doi.org/10.1007/s40808-022-01358-x>
- Naderi, S., Goodarzi, M. & Ghadami Dehno, M., (2018). Effects of Climate Change on

- Climate Parameters in Seymare Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(39), 69-76. (in Persian)
- Nash JE. & Sutcliffe, JV. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *J Hydrol* 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Ostad-Ali-Askari, K., Ghorbanizadeh Kharazi, H., Shayannejad, M. & Zareian, M. J. (2020). Effect of climate change on precipitation patterns in an arid region using GCM models: case study of Isfahan-Borkhar Plain. *Natural Hazards Review*, 21(2), 04020006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000367)
- Rakhimova, M., Liu, T., Bissenbayeva, S., Mukanov, Y., Gafforov, K. S., Bekpergenova, Z. & Gulakhmadov, A. (2020). Assessment of the impacts of climate change and human activities on runoff using climate elasticity method and general circulation model (GCM) in the Buqtyrma river Basin, Kazakhstan. *Sustainability*. 12(12):4968. <https://doi.org/10.3390/su12124968>
- Razzaghian, H., Shahedi, K. & Habib nejad roshan, M. (2017). Evaluation of the climate change effect on Babol-rood watershed runoff using IHACRES model. *Irrigation and Water Engineering*, 7(2), 159-172. (in Persian)
- Reboita, M. S., Kuki, C. A. C., Marrafon, V. H., de Souza, C. A., Ferreira, G. W. S., Teodoro, T. & Lima, J. W. M. (2022). South America climate change revealed through climate indices projected by GCMs and Eta-RCM ensembles. *Climate Dynamics*. 58(1), 459-485. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05918-2>
- Sharafati A. Nabaei S. & Shahid S. (2020). Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology*. 40(3), 1864-1884. <https://doi.org/10.1002/joc.6307>
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. De Vries. & C. A. De Wit. (2015). “Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet.” *Science* 347: 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Van Oldenborgh GJ, Mitchell-Larson E, Vecchi GA, De Vries H, Vautard R. & Otto, F. (2019) Cold waves are getting milder in the northern midlatitudes. *Environ Res Lett* 14(11), 114004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4867>.
- Venter, O., E. W. Sanderson, A. Magrath, J. R. Allan, J. Beher, K. R. Jones, H. P. Possingham, W. F. Laurance, P. Wood. & B. M. Fekete. (2016). “Sixteen Years of Change in the Global ECOLOGICAL MONOGRAPHS35 of 37 Terrestrial Human Footprint and Implications for Biodiversity Conservation.” *Nature Communications* 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
- Wilby, R. L. Dawson, C. W. and Barrow, E. M. (2002). “SDSM—a Decision Support tool for the assessment of regional Climate change impacts”, *J. Environmental Modeling and Software*, 17. 147-159. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00060-3)
- Yaghoobzadeh, M., Khashei, A., Ramazeni, Y. & Hosseini, S. A. (2022). The selection of the best from climate change model in the estimation of climatology variables for east region of the country by use fifth report data. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 10(37), 68-78. <https://sid.ir/paper/381961/en> (in Persian).
- Zareian, M. (2022). Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation in Yazd Province Based on Combined Output of CMIP6 Models, *Journal of Hydrology and Soil Science*, 26(2), 91-105. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4156-en.html> (in Persian)
- Zarrin, A., dadashi-rodبارi, A. & Salehabadi, N. (2021). Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15(1), 35-54. [doi: 10.30499/ijg.2020.249997.1292](https://doi.org/10.30499/ijg.2020.249997.1292). (in Persian)